

การแยกและตกผลึกกรดมะนาวจากแคลเซียมซิเตรตจากการหมักด้วยยีสต์

นางสาวอัมภินี เลิศปิติวาณิชย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-762-3

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**SEPARATION AND CRYSTALLIZATION OF CITRIC ACID FROM  
CALCIUM CITRATE DERIVED FROM YEAST FERMENTATION**

**Miss. Umpinee Lertpeetiwanich**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Biotechnology**

**Program of Biotechnology**

**Faculty of Science**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 1999**

**ISBN 974-334-762-3**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแยกและตกผลึกกรดอะมิโนจากแคลเซียมซีเทรตจากการหมัก  
ด้วยยีสต์

โดย

นางสาวอัมภินี เลิศปิติวานิชย์

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางชีวภาพ

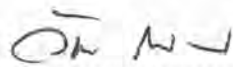
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์วาสนา โตเลี้ยง

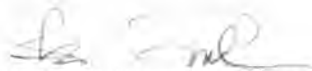
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

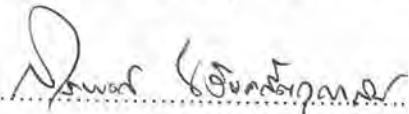
( รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระกูล )




..... อาจารย์ที่ปรึกษา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์ )



..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

( อาจารย์วาสนา โตเลี้ยง )



..... กรรมการ

( รองศาสตราจารย์ ดร.ไพเราะ ปิ่นพานิชการ )

อัมภินี เลิศปิติวานิชย์ : การแยกและตกผลึกกรดมะนาวจากแคลเซียมซิเตรตจากการหมัก  
 ด้วยยีสต์ (SEPARATION AND CRYSTALLIZATION OF CITRIC ACID FROM  
 CALCIUM CITRATE DERIVED FROM YEAST FERMENTATION) อาจารย์ที่ปรึกษา  
 : ผศ. ดร. สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์ วาสนา โตเลี้ยง ;  
 85 หน้า. ISBN 974-334-762-3.

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของการแยกและตกผลึกกรดมะนาว  
 จากแคลเซียมซิเตรตจากการหมักด้วยยีสต์ โดยการเปลี่ยนแคลเซียมซิเตรตกลับไปเป็นกรด  
 มะนาวโดยละลายตะกอนแคลเซียมซิเตรตด้วย 70 % กรดซัลฟิวริก โดยที่สารละลายกรดมะนาวจะ  
 มีค่า pH เป็น 1.7 ที่อุณหภูมิห้อง สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตกรดมะนาวได้ 94.36 % เทียบกับปริมาณ  
 ที่มีในแคลเซียมซิเตรต เมื่อนำสารละลายกรดมะนาวไปกำจัดแอนไอออนปนเปื้อนด้วยเรซิน  
 แลกเปลี่ยนแอนไอออน (Dowex 66) ที่ space velocity 3 ชม<sup>-1</sup> อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส  
 ได้กรดมะนาวกลับคืน 91.76 % เทียบกับปริมาณที่มีในแคลเซียมซิเตรต โดยที่ค่า selectivity  
 coefficient ของเรซิน Dowex 66 ต่อซัลเฟตไอออนมีค่าเท่ากับ 18.88 ที่อุณหภูมิ 60 องศา  
 เซลเซียส และเมื่อนำสารละลายกรดมะนาวไปกำจัดแคทไอออนปนเปื้อนด้วยเรซินแลกเปลี่ยนแคท  
 ไอออน (Dowex HCR-S) ภายใต้ภาวะเดียวกันกับการลดแอนไอออนปนเปื้อน พบว่าจะได้กรด  
 มะนาวกลับคืน 88.57 % เทียบกับปริมาณที่มีในแคลเซียมซิเตรต เมื่อระเหยน้ำออกให้ได้สาร  
 ละลายกรดมะนาวเข้มข้นประมาณ 60<sup>0</sup> บริกซ์ ตกผลึกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสได้ผลึก  
 กรดมะนาวแอนไฮดรัส 57 % เทียบกับปริมาณที่มีในแคลเซียมซิเตรต ผลึกที่ได้มีความบริสุทธิ์  
 99.95 %

ภาควิชา .....  
 สาขาวิชา ... เทคโนโลยีทางชีวภาพ .....  
 ปีการศึกษา .....2542 .....

ลายมือชื่อนิสิต ..... อัมภินี เลิศปิติวานิชย์ .....  
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์ .....  
 ลายชื่อมืออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..... วาสนา โตเลี้ยง .....

# # 3972481723 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD : CITRIC ACID / SEPARATION / CRYSTALLIZATION

UMPINEE LERTPEETIWANICH : SEPARATION AND

CRYSTALLIZATION OF CITRIC ACID FROM CALCIUM CITRATE DERIVED FROM

YEAST FERMENTATION. THESIS ADVISOR : ASSIS.PROF. SURAPONG

NAVANKASATTUSAS , Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : VASANA TOLEING , M.Sc.

85 pp. ISBN 974-334-762-3

The purpose of this experimental study was to find the optimal condition to separate and crystallize citric acid from calcium citrate derived from yeast fermentation. Calcium citrate was converted to citric acid by acidifying with 70 % sulfuric acid to pH 1.7 at room temperature . Recoverable yield of citric acid was 94.36 % of the content in the calcium citrate. Anion residue in citric acid solution was removed by passing the solution through anion exchange resin (Dowex 66) at 60 °C , space velocity of 3 hr<sup>-1</sup>. The recoverable yield of citric acid was 91.76 % of the content in the calcium citrate and selectivity coefficient of Dowex 66 with sulfate ion was 18.88 at 60 °C . The residual cation in citric acid solution was removed by cation exchange resin (Dowex HCR-S) under the same condition as that of anion residue. The recoverable yield of citric acid was 88.57 % of the content in the fermentation broth. Citric acid solution was then evaporated to approximately 60 ° brix and subsequently crystallized at 50 °C. Anhydrous citric acid was obtained with the yield of 57 % with purity of 99.95 % .

ภาควิชา .....  
สาขาวิชา ..... เทคโนโลยีทางชีวภาพ.....  
ปีการศึกษา ..... 2542 .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญาโทบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้ ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์และอาจารย์วาสนา โตเลี้ยง ที่รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมตลอดจนแนะนำแนวทางการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ตันตระเชียร และรองศาสตราจารย์ ดร. ไพเราะ ปิ่นพานิชการ ที่กรุณาเป็นประธานและกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณะบุคลากรทุกท่านในสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความสะดวกในด้านอุปกรณ์ เครื่องมือและการจัดข้อสารเคมีในระหว่างการทำวิจัย

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้เลี้ยงดูและส่งเสริมเงินสำเร็จการศึกษา

ประโยชน์อันเกิดจากการศึกษาในครั้งนี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา คุณครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจมาตลอด

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำย่อ.....	ฌ

### บทที่

1	บทนำ	
	1.1 ประวัติความเป็นมา .....	1
	1.2 คุณสมบัติกายภาพ .....	3
	1.3 มาตรฐานของกรดมะนาว .....	5
	1.4 คุณสมบัติทางเคมี .....	7
	1.5 การสังเคราะห์กรดมะนาว .....	9
	1.6 การแยกและการตกผลึกกรดมะนาว .....	10
	1.7 ประโยชน์ของกรดมะนาว .....	18
	1.8 มุลเหตุจูงใจในการทำวิจัย .....	20
	1.9 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	20
2	วิธีการทดลอง	
	2.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ทำการวิจัย .....	22
	2.2 วิธีวิเคราะห์ .....	24
	2.3 หากภาวะการละลายตะกอนแคลเซียมซิเตรต .....	25

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.4 หากภาวะที่เหมาะสมในการลดสารปนเปื้อนในสารละลายกรดมะนาว ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน .....	26
	2.5 การฟอกสีสารละลายกรดมะนาว .....	27
	2.6 การตกผลึกกรดมะนาว .....	27
	2.7 การวิเคราะห์สมบัติกรดมะนาว .....	28
3	ผลการทดลองและวิจารณ์	
	3.1 การละลายตะกอนแคลเซียมซิทเรต.....	30
	3.1.1 หาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกและ pH ที่เหมาะสมในการ ละลายแคลเซียมซิทเรต .....	30
	3.1.2 การหาค่าสมมูลมวลของการละลายตะกอนแคลเซียมซิทเรต .....	33
	3.2 การลดไอออนปนเปื้อนในสารละลายกรดมะนาวด้วยเรซินแลกเปลี่ยน ไอออน .....	34
	3.2.1 ปัจจัยอัตราการไหลของสารละลายกรดมะนาว .....	34
	3.2.2 อุณหภูมิของการลดไอออนปนเปื้อน .....	39
	3.2.3 การหาค่า selectivity coefficient ของกรดมะนาวและซัลเฟต...	46
	3.3 การฟอกสีกรดมะนาว .....	49
	3.4 การตกผลึกกรดมะนาวแอนไฮดรัส .....	60
4	สรุปผลการทดลอง	65
	รายการอ้างอิง .....	68
	ภาคผนวก	
	ก. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย .....	73
	ข. กราฟมาตรฐานและโครมาโทแกรม .....	76
	ประวัติผู้เขียน .....	85



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ปริมาณกรดมะนาวที่พบในธรรมชาติ .....	2
1.2	สมบัติของกรดมะนาว .....	4
1.3	คุณลักษณะทางเคมีตามมาตรฐานของกรดมะนาว .....	6
1.4	อัตราการตกผลึกของซูโครสที่อุณหภูมิต่าง ๆ .....	18
1.5	ปริมาณและมูลค่าการนำเข้า-การส่งออกกรดมะนาวของประเทศไทย ระหว่างปี 2531 – 2542 .....	21
3.1	ปริมาณกรดมะนาว % ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตผลกลับคืน และปริมาณ ซัลเฟต ที่ได้จากการละลายตะกอนแคลเซียมซิทเรต 100 กรัม ( 50 % ความ เข้มข้น ) ด้วยตัวทำละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 50 % , 60 % และ 70 % โดย pH ของสารละลายกรดมะนาวแต่ละความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก เป็น 1.5 , 1.7 และ 2.0 .....	31
3.2	ปริมาณกรดมะนาวที่ได้จากการละลายแคลเซียมซิทเรต 100 กรัม ( 50% ความเข้มข้น ) ด้วยตัวทำละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 4 นอร์มัล โดย pH ของสารละลายกรดมะนาวเป็น 1.5 , 1.7 และ 2.0 .....	31
3.3	ปริมาณกรดมะนาวที่เรซินแลกเปลี่ยนแอนไอออนชนิดต่าง ๆ 10 มล. สามารถผ่านได้ โดยแปร space velocity ของการไหลเป็น 3 , 6 และ 9 ชม <sup>-1</sup> .....	36
3.4	ปริมาณกรดมะนาวที่เรซินแลกเปลี่ยนแคทไอออนชนิดต่าง ๆ 10 มล. สามารถผ่านได้ โดยแปร space velocity ของการไหลเป็น 3 , 6 และ 9 ชม <sup>-1</sup> .....	38
3.5	ปริมาณกรดมะนาวที่เรซินแลกเปลี่ยนแอนไอออนชนิดต่าง ๆ 10 มล. สามารถผ่านได้ โดยที่อุณหภูมิของคอลัมน์เป็นอุณหภูมิห้อง , 40 , 60 และ 80 องศาเซลเซียส .....	41
3.6	ประสิทธิภาพของเรซินชนิดแลกเปลี่ยนแอนไอออนชนิดต่าง ๆ เมื่อ เทียบกับ capacity ที่ผู้ผลิตระบุไว้ .....	42

## สารบัญตาราง ( ต่อ )

ตารางที่		หน้า
3.7	ปริมาณกรดมะนาวที่เรซินแลกเปลี่ยนแคทไอออนชนิดต่าง ๆ 10 มล. สามารถผ่านได้ โดยที่อุณหภูมิของคอลัมน์เป็นอุณหภูมิห้อง , 40 , 60 และ 80 องศาเซลเซียส .....	44
3.8	ประสิทธิภาพของเรซินชนิดแลกเปลี่ยนแคทไอออนชนิดต่าง ๆ เมื่อเทียบกับ capacity ที่ผู้ผลิตระบุไว้ .....	45
3.9	selectivity coefficient ของกรดมะนาวและซัลเฟตต่อเรซิน (Dowex 66) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ .....	47
3.10	% การฟอกสีกรดมะนาวด้วยผงถ่านชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส .....	50
3.11	% การฟอกสีกรดมะนาวด้วยผงถ่านชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส .....	51
3.12	% การฟอกสีกรดมะนาวด้วยผงถ่านชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส .....	52
3.13	% การฟอกสีกรดมะนาวด้วยผงถ่านชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส .....	53
3.14	% การฟอกสีกรดมะนาวด้วยผงถ่านชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส .....	54
3.15	ความสัมพันธ์ของปริมาณผงถ่าน KK กับการฟอกสีกรดมะนาวที่อุณหภูมิห้อง ( 28 <sup>o</sup> ซ ) .....	57
3.16	% การฟอกสีกรดมะนาวด้วยเม็ดถ่านชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง .....	58
3.17	% การฟอกสีกรดมะนาวด้วยเม็ดถ่านชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 40 <sup>o</sup> ซ .....	58
3.18	การตกผลึกกรดมะนาวที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส .....	60
3.19	สมบัติทางเคมีของกรดมะนาวที่เตรียมได้เทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม ( มอก., 2535 ) .....	61
3.20	เปรียบเทียบจุดหลอมเหลวของกรดมะนาวแอนไฮดริตมาตรฐานและกรดมะนาวแอนไฮดริตที่เตรียมได้ .....	61

## สารบัญตาราง ( ต่อ )

ตารางที่

หน้า

3.21

ปริมาณกรดมะนาวและเปอร์เซ็นต์ผลผลิตกลับคืนในแต่ละ  
ขั้นตอน .....

64

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดมะนาวที่อุณหภูมิสูงกว่า 175 °ซ .....	7
1.2	ปฏิกิริยาเอสเธอริฟิเคชันของกรดมะนาว .....	8
1.3	ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดมะนาว .....	8
1.4	ปฏิกิริยารีดักชันของกรดมะนาว .....	9
1.5	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์กรดมะนาว .....	9
1.6	การแตกตัวของกรดมะนาวในสารละลาย .....	11
1.7	ปฏิกิริยาการตกตะกอนกรดมะนาวด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต .....	13
1.8	ปฏิกิริยาการละลายตะกอนเกลือแคลเซียมซิเตรตด้วยกรดซัลฟิวริก .....	14
1.9	กลไกการแลกเปลี่ยนไอออนที่เคลื่อนย้ายได้ของเรซินกับไอออนของสารปนเปื้อน .....	14
1.10	ผลของความเร็วในการปั่นต่ออัตราการขยายขนาดของโซเดียมไซโอซัลเฟต ที่ 40 ° C .....	17
1.11	อัตราการขยายขนาดของอลูมิเนียม โปแทสเซียมซัลเฟตที่อุณหภูมิ 32 ° C .....	17
3.1	% ผลิตผลกลับคืนของกรดมะนาวที่ได้จากการละลายตะกอนแคลเซียมซิเตรตด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 50 , 60 และ 70 % โดย pH ของสารละลายกรดมะนาวแต่ละความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 1.5 , 1.7 และ 2.0 .....	32
3.2	เปรียบเทียบปริมาณกรดมะนาวที่ผ่านเรซินแลกเปลี่ยนแอนไอออนชนิดต่าง ๆ (10 มล.) โดยแปร space velocity ของการไหลเป็น 3 , 6 และ 9 ชม <sup>-1</sup> .....	35
3.3	เปรียบเทียบปริมาณกรดมะนาวที่ผ่านเรซินแลกเปลี่ยนแคทไอออนชนิดต่าง ๆ (10 มล.) โดยแปร space velocity ของการไหลเป็น 3 , 6 และ 9 ชม <sup>-1</sup> .....	37
3.4	เปรียบเทียบปริมาณกรดมะนาวที่ผ่านเรซินแลกเปลี่ยนแอนไอออนชนิดต่าง ๆ (10 มล.) ณ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ .....	40
3.5	เปรียบเทียบปริมาณกรดมะนาวที่ผ่านเรซินแลกเปลี่ยนแคทไอออนชนิดต่าง ๆ (10 มล.) ณ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ .....	43

สารบัญรูป ( ต่อ )

รูปที่		หน้า
3.6	เปรียบเทียบค่า selectivity coefficient ของกรดมะนาวและซัลเฟตต่อ เรซิน Dowex 66 .....	48
3.7	เปรียบเทียบปริมาณของผงถ่าน KK ที่ใช้ฟอกสีกรดมะนาวที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ.....	55
3.8	เปรียบเทียบปริมาณของผงถ่าน CGC-100 ที่ใช้ฟอกสีกรดมะนาวที่ อุณหภูมิต่าง ๆ .....	55
3.9	เปรียบเทียบปริมาณของผงถ่าน SS-1 ที่ใช้ฟอกสีกรดมะนาวที่ อุณหภูมิต่าง ๆ.....	56
3.10	adsorption isotherm ของผงถ่าน KK ที่อุณหภูมิ 28 °ซ .....	57
3.11	เปรียบเทียบสีของสารละลายกรดมะนาวก่อนผ่านเรซินและหลังผ่าน เรซิน .....	59
3.12	ลักษณะผลึกของกรดมะนาวที่เป็น monoclinic holohedral .....	62
3.13	ภาพของผลึกกรดมะนาวแอนไฮดรัสที่เตรียมได้ขนาด 0.7 มม. ....	62
3.14	ภาพของผลึกกรดมะนาวแอนไฮดรัสมาตรฐานขนาด 0.5 มม. ....	63
ข.1	กราฟมาตรฐานของกรดมะนาวในช่วงความเข้มข้น 0.0 – 4.0 กรัมต่อ ลิตร .....	76
ข.2	กราฟมาตรฐานของกรดไอโซซิทริกในช่วงความเข้มข้น 0.0 – 0.8 กรัม ต่อลิตร .....	77
ข.3	กราฟมาตรฐานของซัลเฟตในช่วงความเข้มข้น 0.0 – 25 มิลลิกรัมต่อ ลิตร .....	78
ข.4	กราฟมาตรฐานของแคลเซียมในช่วงความเข้มข้น 0.0 – 2.0 ไมโครกรัม ต่อลิตร .....	79
ข.5	กราฟมาตรฐานของสารหนูในช่วงความเข้มข้น 0.0 – 5.0 ไมโครกรัม ต่อลิตร .....	80
ข.6	กราฟมาตรฐานของเหล็กในช่วงความเข้มข้น 0.0 – 0.7 ไมโครกรัม ต่อลิตร .....	81

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข.7	กราฟมาตรฐานของตะกั่วในช่วงความเข้มข้น 0.0 – 0.7 ไมโครกรัมต่อลิตร .....	82
ข.8	โครมาโทแกรมของกรดมะนาว (1) , กรดไอโซซิทริก (2) และสารเปรียบเทียบกับภายใน (กรดทาร์ทาริก) (3) .....	83
ข.9	แสดงโครมาโทแกรมของสารละลายกรดมะนาวที่ยังไม่ผ่านการจัดไอออนปนเปื้อน (1) โครมาโทแกรมของสารละลายกรดมะนาวที่ผ่านการจัดแอนไอออนปนเปื้อน (2) โครมาโทแกรมของสารละลายกรดมะนาวที่ผ่านการจัดแคทไอออนปนเปื้อน (3) และ โครมาโทแกรมของผลิตภัณฑ์กรดมะนาวที่ได้ .....	84

## คำย่อ

ก.	=	กรัม
<sup>0</sup> ซ	=	องศาเซลเซียส
ลบ.ซม.	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
มล.	=	มิลลิลิตร
มก.	=	มิลลิกรัม
กก.	=	กิโลกรัม
ชม.	=	ชั่วโมง
%	=	เปอร์เซ็นต์
w / v	=	น้ำหนัก / ปริมาตร
w/w	=	น้ำหนัก / น้ำหนัก
HPLC	=	ไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิกวิดโครมาโทกราฟี
<sup>0</sup> brix	=	องศาบริกซ์
$\bar{X}$	=	ค่าเฉลี่ย
SD	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
nm	=	นาโนเมตร